

Eau et agriculture

C. Gascuel et T. Caquet, Direction Scientifique Environnement – 26/02/2021

Éléments de synthèse

- Les quatre grands postes de prélèvement de la ressource eau en France correspondent à l'eau potable, à l'énergie, à l'industrie et à l'agriculture. **L'agriculture est de loin la première consommatrice d'eau**, et toute amélioration de l'efficacité de l'eau est particulièrement importante. L'agriculture irriguée affiche un prélèvement sur la ressource faible – environ 10 % du volume total – mais une consommation très importante.
- Les données consolidées accessibles sur le site de la banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau (BNPE) concernant les usages de l'eau en agriculture ne donnent que des **ordres de grandeur des volumes prélevés et de leur répartition selon les usages de l'eau, mais avec une agrégation spatiale et temporelle qui ne permet pas d'avoir une vision spatiale et temporelle, par filière ou territoire.**
- Même si les précipitations annuelles ne présentent pas d'évolution marquée depuis 1959 à l'échelle de la France, elles sont toutefois caractérisées par une nette disparité, avec une augmentation sur une grande moitié Nord et une baisse au Sud. La moyenne décennale de la surface du territoire concernée par des **sécheresses** est passée de valeurs de l'ordre de 5 % dans les années 1960 à plus de 10 % de nos jours.
- Les projections montrent une tendance probable à **l'aggravation de la situation**, avec une raréfaction de « l'eau bleue » qui trouve ses origines principales dans une diminution de la « pluie efficace », c'est-à-dire de la part de l'eau qui recharge les nappes. Cela tient essentiellement à **l'augmentation de l'évapotranspiration (ETP).**
- Les principaux enjeux que soulève la gestion des ressources en eau pour des usages agricoles dans un contexte de changement climatique sont les suivants : (i) **limiter la demande en optimisant le fonctionnement des couverts végétaux cultivés en situation hydrique limitante** (amélioration variétale ; adaptation des systèmes de culture à la sécheresse ; diversification en lien avec la transition agroécologique ; substitution des cultures irriguées par des cultures moins ou non irriguées) ; (ii) **Améliorer l'offre en eau et son utilisation** en progressant vers une **irrigation de « résilience »** qui ne vise pas l'optimum mais assure une stabilité des productions ; (iii) Développer les approches de **concertation entre acteurs** pour la gestion territorialisée équitable des ressources en eau ; et (iv) Développer les **approches prospectives pour anticiper et identifier les problèmes relatifs à la gestion quantitative des ressources en eau**. INRAE prépare un cahier des charges pour une **étude interdisciplinaire**, incluant des dimensions sociales et économiques, de type 4p1000 mais sur l'eau : bilan hydrique (ETP, recharge) et production agricole, selon les scénarios d'usage des sols actuels, selon différents modes de gestion des terres (part de l'agriculture, système de culture, gestion irrigation...).

1. Tendances de l'utilisation de l'eau en agriculture en France

1.1. Données sur les prélèvements d'eau en France

En France, l'utilisation de l'eau est principalement encadrée par la loi sur l'eau de 1992, révisée par la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) de 2006. Les prélèvements d'eau sont soumis à un régime réglementaire de déclaration ou d'autorisation, à l'enregistrement des volumes prélevés. Les services de l'État (DDT et DREAL) sont chargés d'instruire les dossiers d'autorisation des prélèvements, de contrôler les déclarations de volumes prélevés effectuées par les usagers et de donner suite aux contrôles en cas de non-conformité. Les agences de l'eau - ou offices de l'eau en outre-mer - perçoivent une redevance pour prélèvement sur la ressource en eau et collectent les

données nécessaires (volumes prélevés, régime de déclaration, usage du prélèvement, etc.) à l'établissement de cette redevance. Les prélèvements d'eau peuvent ainsi être quantifiés à l'aide des déclarations annuelles faites par les préleveurs auprès des agences et offices de l'eau.

La **banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau** (BNPE¹) est l'outil national dédié aux prélèvements sur la ressource en eau, pour la France métropolitaine et les départements d'outre-mer. Au fil des années, les acteurs de l'eau avaient développé leurs propres outils de collecte et de gestion des données liées aux prélèvements. Face à la disparité des données et au cloisonnement des dispositifs, le ministère chargé de l'environnement a décidé la mise en œuvre de la BNPE et a confié la maîtrise d'ouvrage à l'Office Français de la Biodiversité. La direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) du ministère chargé de l'environnement est en charge du pilotage stratégique du projet. Le pilotage technique du projet est assuré par l'Agence de l'eau Adour-Garonne et l'OFB. Les informations portent sur les volumes annuels directement prélevés sur la ressource en eau et sont déclinées par localisation et catégorie d'usage de l'eau. Issues aujourd'hui de la gestion des redevances par les agences et offices de l'eau, elles sont appelées à être complétées à court terme par d'autres producteurs de données. Les données sont mises à jour une fois par an.

Le bulletin annuel présente une photographie des données relatives aux prélèvements stockées au sein de la BNPE, donnant ainsi les ordres de grandeur des volumes prélevés et de leur répartition selon les usages de l'eau. **A l'heure actuelle les données consolidées accessibles sur le site de la BNPE concernant les usages de l'eau en agriculture portent sur la période 2012-2018 auxquelles s'ajoutent des données partielles pour la période 2008-2011. Il faut garder présent à l'esprit que les données relatives aux prélèvements stockées au sein de la BNPE donnent des ordres de grandeur des volumes prélevés et de leur répartition selon les usages de l'eau mais avec une agrégation spatiale et temporelle qui ne permet pas d'avoir une vision spatiale et temporelle, par filière ou territoire.**

Selon la version du bulletin annuel du BNPE la plus récente disponible (parution en 2019 sur la base des données 2016), le volume d'eau douce prélevé chaque année en France est estimé à plus de 884 milliards de m³, mais près de 96 % de ce volume concerne l'utilisation de la force motrice de l'eau pour produire de l'électricité (barrages hydroélectriques). Parmi les 4% restants (près de 37 milliards de m³), plus de la moitié reste destiné à la production d'énergie (principalement pour le refroidissement des centrales thermiques à flamme ou nucléaires, qui en restituent la quasi-totalité au milieu naturel ; **Figure 1**).

La répartition géographique des prélèvements varie selon les usages principaux. **Les prélèvements pour l'irrigation sont plutôt concentrés dans le sud du territoire**, alors que ceux de l'industrie le sont dans la frange nord-ouest. Les prélèvements pour l'alimentation des canaux sont clairement concentrés dans la frange est de la métropole. Enfin, les volumes prélevés pour l'énergie (hors barrages hydroélectriques) sont concentrés sur quelques régions, de par la localisation des grandes centrales. En outre-mer, les prélèvements les plus importants sont destinés à l'alimentation en eau potable, puis à l'irrigation et marginalement à l'industrie. La répartition des prélèvements selon leur provenance des eaux souterraines ou de surface varie à la fois géographiquement et selon les usages. L'eau potable est majoritairement issue d'eau souterraine, alors que l'eau destinée à l'irrigation, à l'alimentation des canaux ou à l'industrie provient des eaux de surface continentales. La quasi-totalité de l'eau à destination de la production d'énergie provient d'eau de surface.

¹ <https://bnpe.eaufrance.fr/presentation>

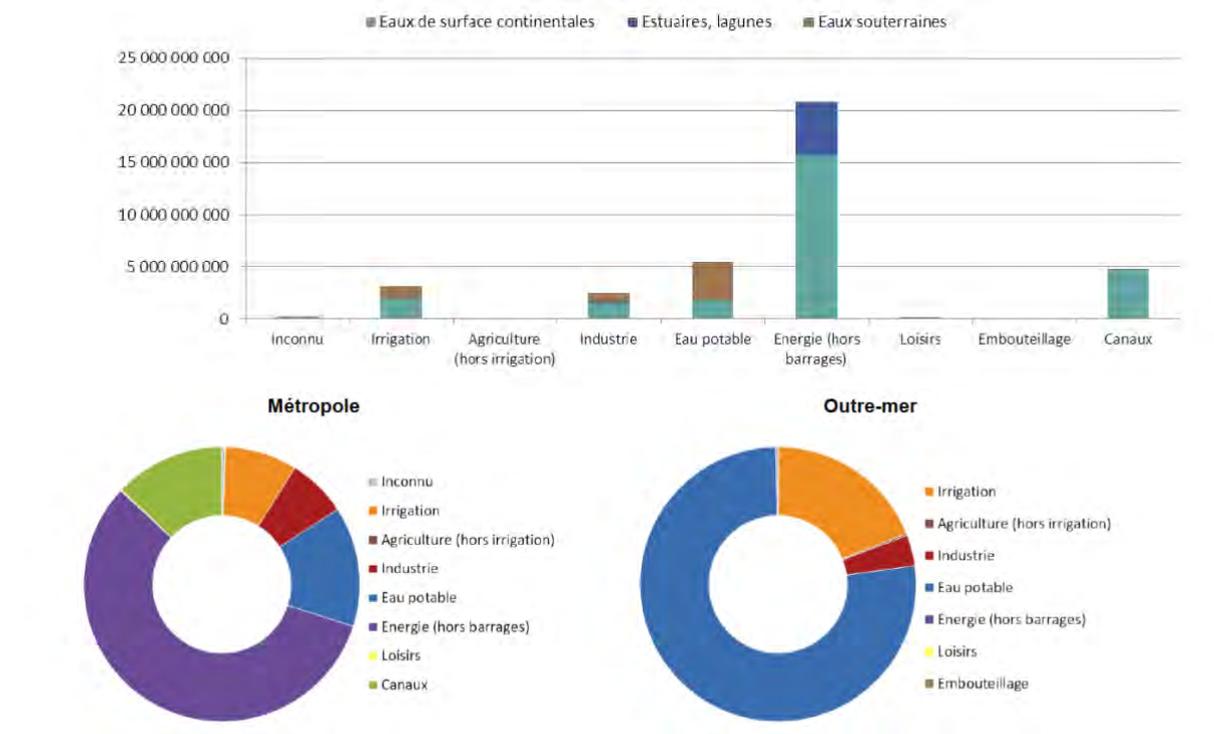


Figure 1. Ventilation du volume total prélevé selon les différents usages déclarés et le type d'eau prélevé (en haut) ; ventilation du volume prélevé déclaré selon les différents usages (en bas ; données BNPE).

Parmi les quantités prélevées, il faut distinguer ce qui relève de la consommation brute, c'est-à-dire le volume prélevé mais dont une partie retourne ensuite, après plus ou moins de traitements, donc d'énergie, au milieu naturel (cas du secteur énergétique, des usages domestiques par exemple), et de la consommation nette, c'est-à-dire le volume réellement consommé, absorbé, et qui n'est pas restitué au milieu après utilisation (cas des écosystèmes, dont les agroécosystèmes). **L'agriculture est donc de loin la première consommatrice d'eau, et toute amélioration de l'efficacité de l'eau en agriculture est particulièrement importante.**

1.1. L'irrigation en France

L'agriculture irriguée affiche un prélèvement sur la ressource faible – en France, environ 10 % du volume total – mais une consommation très importante. L'eau d'irrigation agricole est véritablement consommée car elle est transpirée par la végétation, elle part vers l'atmosphère et ne ré-alimente pas la ressource en eau (nappe, cours d'eau,...), ce qui explique pourquoi le secteur agricole est un gros consommateur d'eau. L'eau de pluie utilisée directement par les cultures n'est pas comptabilisée.

Les données Agreste permettent de visualiser l'évolution de la part des surfaces irriguées dans les différentes régions (**Figure 2**).

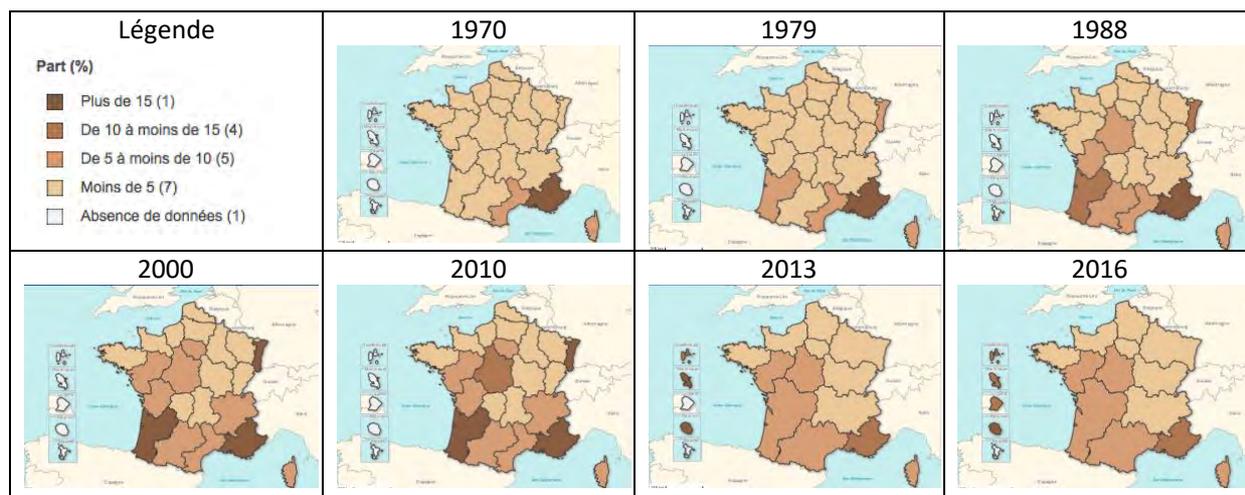


Figure 2. Evolution de la part des surfaces irriguées dans les différentes régions de France entre 1970 et 1976 (en % de la SAU ; données Agreste compilées et accessible en ligne sur le site de la BNPE).

L'importance du total des volumes prélevés (**Figure 3**) est notamment liée à la nature des cultures (leurs besoins en eau), à la taille des superficies cultivées et au mode d'irrigation utilisé (techniques mises en œuvre).

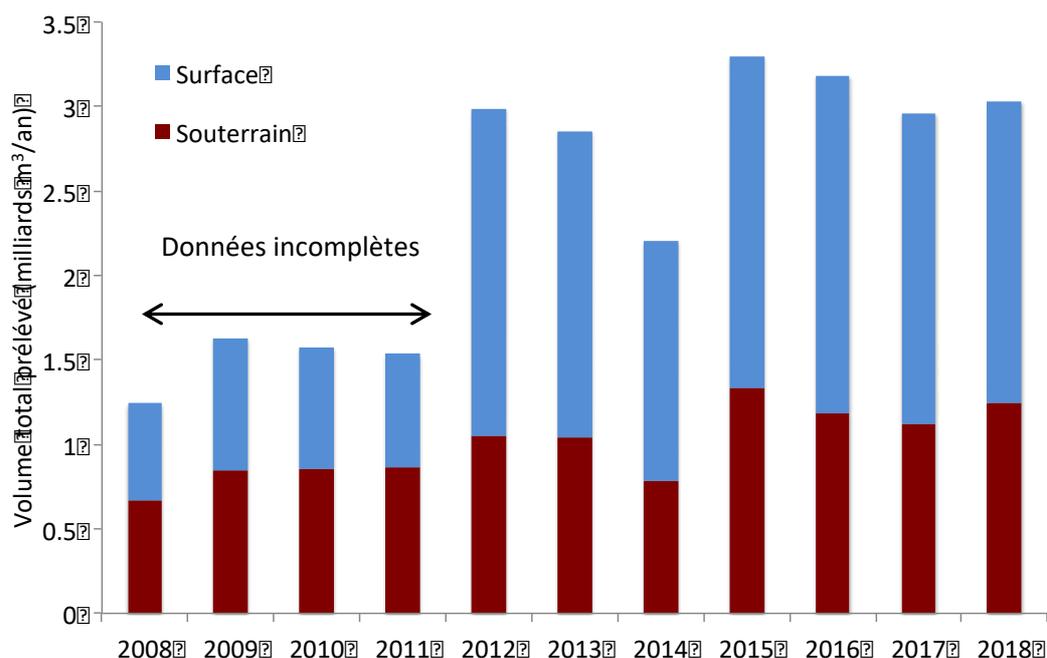


Figure 3. Volumes prélevés pour l'irrigation en France (en milliards de m³/an) dans les eaux de surface et souterraines données BNPE).

Les volumes des prélèvements varient selon les départements (**Figure 4**) ou les régions (**Figure 5**).

A titre d'exemple, sur les 3,2 milliards de m³ prélevés en 2016 pour l'irrigation, près des deux tiers (63 %) étaient issus des eaux de surface continentales. La situation était néanmoins particulièrement contrastée entre les franges sud-est et nord-ouest du territoire métropolitain. Dans les régions de la frange sud (Occitanie, Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Corse), dont les prélèvements pour l'irrigation représentent près de la moitié du total (46 %) en France métropolitaine, l'irrigation est très majoritairement (pour près de 70 %) assurée avec de l'eau de surface. Dans les autres

régions métropolitaines, dont les prélèvements pour l'irrigation représentent près de 54 % du total, l'irrigation est basée à près de 70 % sur de l'eau souterraine. En outre-mer, l'eau prélevée pour l'irrigation est quasi exclusivement issue des eaux de surface continentales (de 89 à 100 % selon les DOM, avec une valeur inférieure pour Mayotte, à 63 %). en 2016

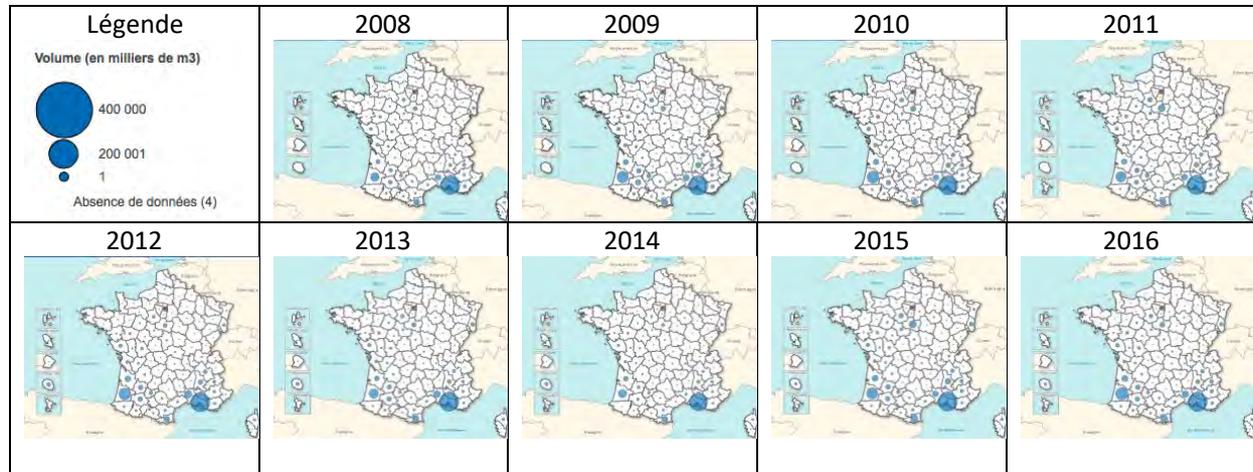


Figure 4. Prélèvements déclarés pour l'irrigation par département en France entre 2008 et 2016 (données BNPE).

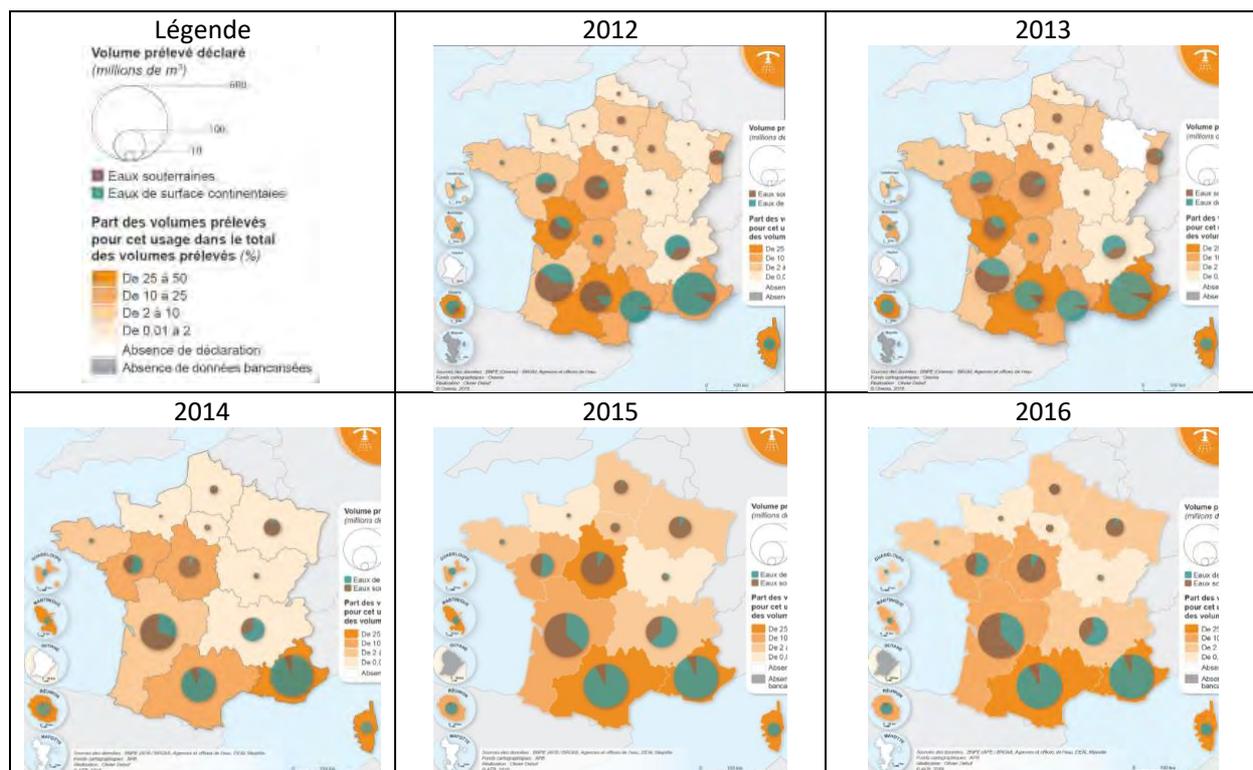


Figure 5. Prélèvements déclarés pour l'irrigation par région en France entre 2012 et 2016 (données BNPE).

2. Vision prospective des besoins en eau dans les prochaines années au regard des prévisions climatiques

La mission commune CGEDD-CGAAER² « Changement climatique, Eau, Agriculture » a réalisé une synthèse de nombreuses études (R.D. 2050 ; Explore 2070 ; Garonne 2050 ; AE 2050 ; Impact AERMC ; Climator ; Climsec ; Acclimaterra ; RMT Changement climatique et Agriculture ; GIEC ; schémas départementaux de gestion des ressources en eau ou d'irrigation ; observatoire ORACLE ; guide de l'Ademe ; Climalait).

- Des impacts déjà importants

Même si les précipitations annuelles ne présentent pas d'évolution marquée depuis 1959 à l'échelle de la France, elles sont toutefois caractérisées par une nette disparité avec une augmentation sur une grande moitié Nord (surtout le quart Nord-Est) et une baisse au Sud (surtout dans le Sud-Est).

L'analyse des données météorologiques met aussi en évidence une augmentation de la fréquence des vagues de chaleur, une absence de tendance marquée pour la fréquence des tempêtes et des pluies extrêmes, une diminution de la durée de l'enneigement en moyenne montagne et une tendance à un assèchement du sol et à l'accentuation de l'intensité des sécheresses. Du point de vue agronomique, la comparaison du cycle annuel d'humidité du sol entre les périodes de référence climatique 1961-1990 et 1981-2010 sur la France se traduit par un allongement moyen de la période de sol sec de l'ordre d'une vingtaine de jours en juillet et septembre tandis que la période de sol très humide évolue peu. Pour les cultures irriguées, cette évolution se traduit potentiellement par un accroissement du besoin en irrigation.

L'étude « Explore 2070 » constitue le rapport de référence au niveau national concernant le niveau des cours d'eau et le taux de charge des nappes phréatiques attendus à l'horizon 2046-2065 (Figure 6).

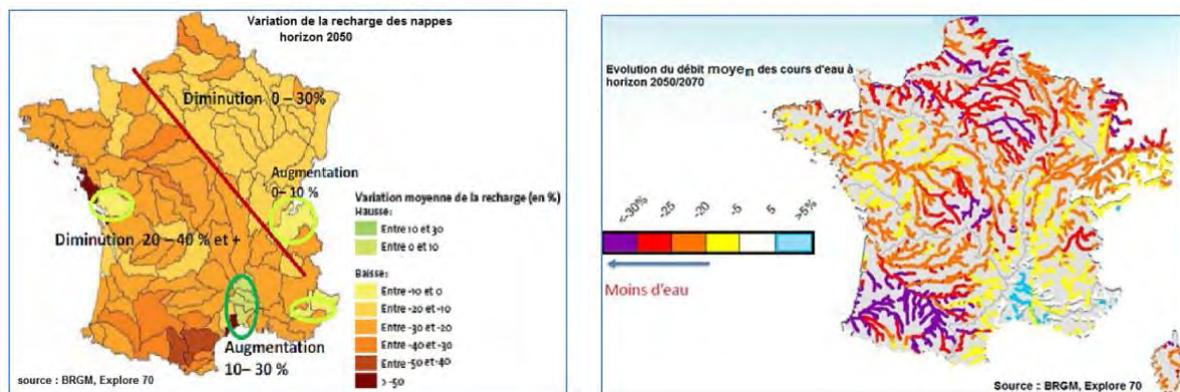


Figure 6. Exemples de résultats de l'étude Explore 2070 pour l'horizon 2050 : variation de la recharge des nappes à (à gauche) ; évolution du débit moyen des cours d'eau (à droite).

Elle montre ainsi que l'on doit s'attendre à :

- une baisse significative de la recharge des nappes. Les résultats sont assez différents selon les régions, mais ils ne sont bons quasiment nulle part. La baisse moyenne de la recharge pour la France dans son ensemble et pour des systèmes agricoles identiques, sera de 10 à 25 %. Elle sera particulièrement marquée pour le bassin de la Loire, où elle atteindra 25 à 30 %, et pour le Sud-Ouest (-30 à -50 %) ;

² Ayphassorho H., Bertrand N., Mitteault F., Pujos C., Rollin D., Sallenave M., 2020. Changement Climatique, Eau, Agriculture. Rapport CGEDD n° 012819-01, CGAAER n° 19056

- une baisse du débit moyen annuel des cours d'eau sur toute la métropole. Pour une majorité de points de mesure, le débit moyen annuel pourrait baisser de l'ordre de 10 à 40 %. Les modèles projettent une diminution particulièrement marquée du débit moyen annuel pour les cours d'eau des contreforts pyrénéens³ et, dans une moindre mesure, de la majorité du district hydrographique Seine-Normandie, avec des diminutions simulées comprises entre -10 et -60 % ;
- des débits d'étiages plus sévères, plus précoces et qui durent plus longtemps, avec des débits estivaux réduits de 30 à 60 %. Ainsi, le Rhône à Beaucaire pourrait subir une baisse du débit minimum mensuel quinquennal jusqu'à -50%. Pour la Seine, on s'attend à une baisse du débit moyen annuel à Paris comprise entre -10 et -50 %, mais à un recul du débit minimum mensuel quinquennal pouvant atteindre jusqu'à -70%.
- L'intermittence des cours d'eau amont s'étend, avec des conséquences sur la qualité des eaux.

Cette raréfaction de « l'eau bleue » trouve ses origines principales dans une diminution de la « pluie efficace » (P-ETP) c'est-à-dire de la part de l'eau qui recharge les nappes. Cela tient essentiellement à l'augmentation de l'évapotranspiration (ETP), somme de la transpiration du couvert végétal et de l'évaporation en eau du sol. Intégrant des facteurs climatiques (rayonnement, vent, humidité atmosphérique en plus de la température). L'ETP est une variable clé du cycle hydrologique dans la mesure où elle conditionne le partage entre la fraction des pluies qui retourne vers l'atmosphère, reste stockée dans le sol au niveau de la zone racinaire ou s'infiltre pour alimenter les nappes. En fonction de la nature du couvert végétal, il est généralement considéré qu'une augmentation de 1 °C implique une augmentation de l'évapotranspiration comprise entre 10 et 15 %. Cet indicateur renseigne sur les besoins hydriques des cultures.

Différents paramètres du climat et des changements qui l'affectent ont et auront des effets de plus en plus marqués sur l'agriculture via la dimension « eau » :

- L'ETP augmente : l'étude Climfourrel montre par exemple que l'augmentation très significative de l'ETP autour de la Méditerranée sur les 4 mois de mai à août (+40 à +60 mm, 4 à 6% par décennie selon les lieux). C'est la variable climatique dont l'évolution est la plus importante et la plus lourde de conséquences sur la production agricole et la recherche aux nappes. C'est aussi celle assortie d'une très grande incertitude que les organismes de recherche, dont INRAE, visent à réduire ou à mieux caractériser.
- Le changement du régime des précipitations avec leur diminution estivale entraînera un déficit hydrique en été et des sécheresses estivales. Cela rendra difficile, et souvent impossible dans certaines régions notamment méridionales, beaucoup de cultures d'été actuellement pratiquées sans irrigation, avec des baisses de rendements qui pourront être considérables. Il y a, en effet, un effet ciseau lié à l'augmentation de l'ETP et à la diminution de la ressource en eau pour l'irrigation en étiage (période de plus forte consommation des plantes), qui va conduire à une forte aggravation du stress hydrique des cultures.
- L'augmentation possible des précipitations hivernales pourrait entraîner des excès d'eau produisant des stress tout aussi pénalisants que les sécheresses estivales avec des anoxies racinaires qui conduiront à des baisses de rendements les années humides si des aménagements ou des changements de pratiques ne sont pas mis en place.
- Les pluies intenses et les sécheresses devraient voir leur fréquence augmenter. L'importance de ces phénomènes et leur multiplication vont fragiliser les sols par l'érosion, le ruissellement, les coulées de boue, l'accélération de la minéralisation de la matière organique et la perte de biodiversité dans le sol. Cette dégradation du sol peut entraîner une perte de l'aptitude à produire à travers une baisse de la fertilité des sols, de la réserve utile,

³ -50% pour la Garonne selon l'étude Garonne 2050.

des capacités d'échange cationique, ainsi qu'une réduction de la diversité des microorganismes et de la macrofaune du sol.

- L'aléa climatique devrait être plus élevé, rendant plus difficiles les approches prévisionnelles sur les périodes à risques pour les cultures. Si les cultures d'hiver peuvent continuer à être pratiquées en pluvial (i.e., sans irrigation) avec le changement climatique (en intégrant toutefois les difficultés causées par les excès d'eau et anoxies racinaires liés aux augmentations des pluies hivernales), dans beaucoup de situations et, notamment dans le sud de la France, beaucoup de cultures d'été actuelles auront du mal à se maintenir en pluvial. Ceci pourrait conduire dans certaines situations à remplacer les cultures d'été actuelles les plus consommatrices en eau par d'autres (tournesol, sorgho...).
- La multiplication des évènements extrêmes climatiques déclenchera également des chocs sur les marchés des produits avec des changements rapides et brutaux qui ne pourront pas toujours être compensés par les productions des régions non touchées par ces évènements ; ces changements ne bénéficieront généralement pas aux agriculteurs.

Les principaux enjeux, notamment scientifiques, que soulève la gestion des ressources en eau pour des usages agricoles dans un contexte de changement climatique sont les suivants :

- **Limiter la demande en optimisant le fonctionnement des couverts végétaux cultivés en situation hydrique limitante**
 - **Amélioration variétale (Figure 7).**

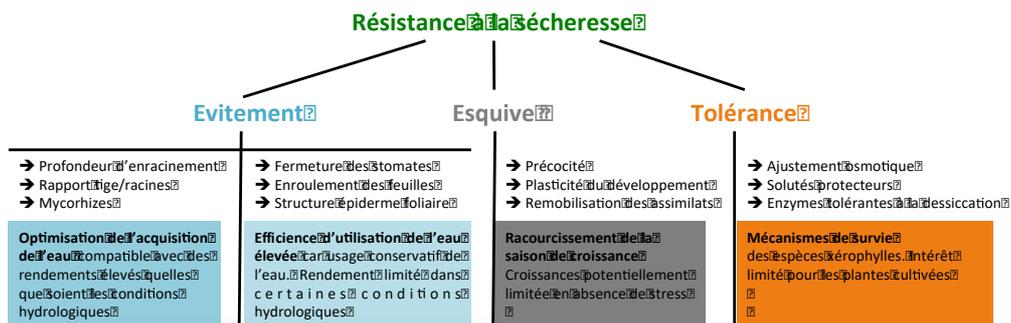


Figure 7. Différentes stratégies utilisables dans les schémas de sélection variétale vis-à-vis de la résistance à la sécheresse. Parmi les critères nouveaux pris en compte pour disposer de cultivars plus résistants à la sécheresse figure les stratégies d'évitement (optimisation d'acquisition de l'eau, augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'eau), d'esquive (précocité du développement) ou de tolérance (inspirées des plantes xérophytes). Ces travaux ont fortement bénéficié de la dynamique du programme Investissement d'avenir.

- **Adaptation des systèmes de culture à la sécheresse.**

En cohérence avec les démarches préconisées en agroécologie, la **diversification** des cultures à différentes échelles (parcelle, exploitation, territoire) peut être mise à profit pour faire face à des conditions climatiques plus incertaines, plus extrêmes ou plus fluctuantes, ou bien encore pour réduire la vulnérabilité à des bioagresseurs émergents ou plus virulents. Dans certaines situations, l'allongement de la période favorable aux plantes peut permettre d'envisager deux cultures par an (orge de printemps après orge d'hiver par exemple), mais cela ne sera pas toujours possible (blé d'hiver après betterave sucrière rendu difficile voire impossible en raison d'un risque de sécheresse estivale).

L'introduction de davantage de diversité intra- et interspécifique au niveau de la parcelle ou de l'exploitation, ou bien encore dans les rotations (conduisant à un allongement de ces dernières) doit permettre de rendre le système de production plus résilient face au changement et à la variabilité climatique accrue. Cette problématique ne concerne pas que les plantes annuelles. Les prairies semées peuvent aussi bénéficier de cette augmentation de la diversité. Pour ces dernières, mélanger

des variétés qui n'ont pas besoin d'eau aux mêmes moments est intéressant pour obtenir davantage de stabilité des rendements de la prairie sur l'année. Semer un mélange associant des légumineuses, luzerne ou trèfle, à des graminées présente également un avantage puisque les légumineuses, qui fixent l'azote de l'air, évitent l'apport d'engrais azoté. La difficulté est de trouver un équilibre dans la durée entre les espèces et variétés du mélange.

Les **sols** doivent être au centre des stratégies proposées, en tant notamment que régulateurs de l'approvisionnement en eau des plantes et de la recharge à la nappe (réservoir utile). Leur bon état physique (absence de compaction) et biologique conditionne l'alimentation en eau des cultures.

- *Substitution des cultures irriguées (e.g., maïs) par des cultures moins irriguées, voire non irriguées (e.g., tournesol ou sorgho).*

Cette stratégie est cohérente avec la diversification évoquée précédemment. Toutefois cela pose la question de la valorisation de ces productions pour lesquelles les filières et les circuits de valorisation ne sont pas forcément organisés.

- **Améliorer l'offre en eau et son utilisation :**

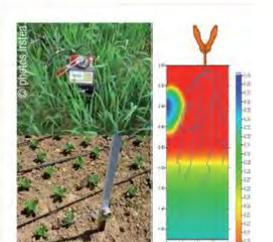
Il s'agit de progresser vers une **irrigation de « résilience »** qui ne vise pas l'optimum mais assure une stabilité des productions, ce que préconise le rapport CGEDD-CGAAER mentionné précédemment. Ce qui veut dire une irrigation contrôlée (quota de prévision), quantifiée (suivi de l'utilisation), au plus près des racines (technologie)... En combinaison et en complément de tout un panel de leviers agronomiques (plante, système de culture, paysage).

- *Optimisation des techniques et de la gestion de l'irrigation aux échelles parcelles et de l'exploitation agricole.*

A titre d'exemple, les chercheurs d'INRAE travaillent notamment sur les systèmes d'irrigation de surface (système qui utilise la gravité via un réseau de canaux et rigoles de taille dégressive), d'irrigation par aspersion (système où l'eau est distribuée sous forme de fines gouttelettes pour simuler une pluie ou éventuellement une bruine) ou de goutte-à-goutte (la juste quantité nécessaire d'eau est acheminée à la plante au niveau des racines par un système de surface ou enterré). Les travaux sur l'irrigation à INRAE s'appuient notamment sur la plateforme PRESTI (**Encadré 1**).

Encadré 1 – La Plateforme Recherche et Expérimentation en Sciences et Techniques d'Irrigation – PRESTI

Combinant expérimentations (conditions contrôlées et terrain de 3,5 ha) et simulations numériques, la plateforme PRESTI étudie les divers dispositifs d'irrigation (gravitaire, aspersion, goutte-à-goutte), traditionnels ou innovants. Elle vise à optimiser leurs performances technologiques et agro-environnementales tout au long du cheminement de l'eau, depuis la prise d'eau jusqu'à son arrivée à la plante. Elle étudie également la valorisation des systèmes d'irrigation pour la réutilisation d'eaux usées plus ou moins chargées ou l'apport de fertilisants (fertigation). Elle développe aussi des outils de pilotage de l'irrigation (modèle Optirrig).



La plateforme réalise des travaux de recherche finalisée, des programmes de R&D avec des industriels, des tests de matériels sous protocoles normalisés et assurance qualité

Une étude a été réalisée avec le soutien du MAA⁴ sur des références d'économies d'eau réalisées à la parcelle issues d'essais expérimentaux ou de suivis d'agriculteurs via les chambres d'agriculture et les instituts techniques. Elle a montré que l'efficacité du système d'irrigation par aspersion s'élève de 50 à 65% et pourrait être augmentée de 10% à 40% par l'amélioration du pilotage (mise en place de tensiomètres, conduite avec des logiciels d'irrigation...). La conversion au goutte à goutte permet théoriquement une progression de 15% à 25 % par rapport à l'aspersion à condition que la maîtrise du système par l'agriculteur reste bonne. Enfin l'amélioration du système de pilotage permettrait d'augmenter l'efficacité de 10% à 40%. Les économies d'eau sont imputables à la modernisation du système d'irrigation, mais également à la bonne conduite de l'irrigation qui consiste à apporter la bonne quantité d'eau au bon moment.

Des exemples de développements techniques et technologiques récents sont à signaler :

- Logiciel Optirrig pour optimiser les stratégies d'irrigation. Il permet de planifier l'irrigation selon des objectifs de rendement, la technique utilisée et l'évolution des conditions climatiques. Il est actuellement utilisé dans le cadre de plusieurs partenariats public-privé et programmes de recherche.
- Projet RSEau en cours, financé par l'Ademe, pour le développement d'un service numérique pour la gestion de l'irrigation. Coordonné par AQUASYS, le projet a pour but de concevoir un service permettant de promouvoir l'éco-efficacité de l'irrigation via un système de compensation. Il met en perspective les usages des agriculteurs irrigants avec l'état de la ressource. Le service accompagne trois types de compensations : compensation financière au travers du paiement des services environnementaux (PSE), gestion des autorisations de prélèvement et valorisation économique de la qualité environnementale des productions.
- *Mobilisation de ressources en eau additionnelles, y compris la réutilisation des eaux usées traitées (REUT).*

La réutilisation des eaux usées traitées, ou *Reuse* en anglais, pour irriguer les cultures est une solution locale pour économiser et préserver la qualité des eaux, valoriser les nutriments présents à des fins agronomiques et préserver l'environnement. Elle implique notamment de bien évaluer les risques sanitaires et environnementaux associés à l'utilisation de cette ressource (**Encadré 2**).

- *Limitation des pertes en eaux dans les ressources disponibles*
- *Amélioration de la capacité de recharge des aquifères : accroître le pourcentage de surface en agriculture pluviale ; sur la sole irriguée, accroître le pourcentage de surface en irrigation de complément ; sur la sole pluviale, accroître le pourcentage de surface des cultures d'hiver*
- **Développer les approches de concertation entre acteurs pour la gestion territorialisée équitable des ressources en eau**

Un point crucial concerne le renforcement de la ressource en eau pour l'agriculture via notamment la création d'ouvrages dédiés. Selon les travaux de la mission commune CGEDD-CGAAER précédemment citée, ce renforcement sera nécessaire dans certains cas, pour contribuer à l'équilibre économique de l'agriculture et social des territoires, et devra servir en parallèle à l'évolution du modèle agricole vers des pratiques plus économes et au rétablissement d'un rôle du sol dans la rétention de l'eau.

⁴ Serra-Whittingling C., Molle B., 2017. Evaluation des économies d'eau à la parcelle réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation, 150 p.

Encadré 2 - La plateforme expérimentale de réutilisation d'eaux usées traitées en irrigation de Murviel-lès-Montpellier (Hérault)

INRAE expérimente sur le terrain et évalue la faisabilité et les impacts d'une filière de réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation. L'institut dispose d'une plateforme composée d'une parcelle irriguée de 0,5 ha à Murviel-lès-Montpellier (Hérault) depuis 2017, sur laquelle poussent des vignes, de la luzerne et des arbres fruitiers. Les eaux usées traitées provenant de la station d'épuration voisine sont utilisées pour irriguer une partie de la parcelle. Cette plateforme permet d'évaluer la faisabilité et les impacts agronomiques, sanitaires et environnementaux d'une filière de REUT. Les objectifs principaux sont l'adaptation des procédés de traitement de l'eau en fonction de son usage, la maîtrise des risques sanitaires et environnementaux et des rendements agricoles, et l'optimisation des systèmes d'irrigation localisée (réduction du colmatage). Le travail porte sur l'acquisition de références à la fois (1) en conditions contrôlées (bacs de sol) dans l'enceinte d'une station d'épuration et (2) en conditions réelles, sur une parcelle agricole de cultures annuelles et pérennes (surface de 0,5 ha), avec des pratiques règlementées, en utilisant des techniques d'irrigation améliorées destinées à réduire les possibilités de contamination.



Des projets connexes concernent l'évaluation sociale et économique de la REUT pour mieux caractériser la demande et mieux connaître la perception de ce procédé par les décideurs, usagers et consommateurs finaux.

En France, les retenues de petite taille se sont multipliées à la fin du 20^{ème} siècle. Au début des années 2000, on en comptait environ 125 000. La création de nouveaux ouvrages de stockage se poursuit et soulève de nombreuses questions environnementales, notamment en termes d'impact sur le milieu aquatique, en particulier dans les zones déjà très équipées et où les ressources en eau sont d'ores et déjà très mobilisées.

Une expertise scientifique collective sur l'impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique a été réalisée par Irstea et l'INRA en 2016⁵ (**Encadré 3**).

La mise en place de retenues de substitution, construites en dehors et déconnectées du lit mineur des cours d'eau et substituant des prélèvements en étiage par des prélèvements de remplissage hors étiage, est à développer de manière privilégiée, dans le respect du bon état de milieu. La démarche de PTGE prônée par l'instruction gouvernementale du 7 mai 2019 est bien adaptée pour la recherche de consensus sur les usages de la ressource en eau à l'échelle de territoires hydrographiques d'échelles réduite et moyenne, mais ne répond pas aux problématiques de grands axes fluviaux. La démarche peine souvent à aboutir et mérite un support renforcé des pouvoirs publics et des collectivités.

Compte tenu des enjeux il est nécessaire que l'irrigation de demain ne soit pas celle d'aujourd'hui. Elle doit évoluer, notamment et prioritairement sur les bassins en tension, dans des conditions assurant la viabilité économique des exploitations, vers une irrigation plus économe, centrée sur la sécurisation de la production agricole et contribuant à une plus grande sobriété et résilience de l'agriculture, qui s'accompagne d'une évolution des assolements et des pratiques (travail du sol en particulier) pour rendre plus efficaces les apports réduits en eau et qui vise une conduite des cultures vers un optimum faisant converger rentabilité agricole et économie de la ressource en eau.

⁵ <https://expertise-impact-cumule-retenues.inrae.fr/les-rapports/>

Encadré 3 – Les principales conclusions de l'Expertise Scientifique Collective Irstea-INRA sur l'impact cumulé des retenues de 2016

L'étude de l'effet des retenues est compliquée par la grande diversité de ces structures, diversité qui s'exprime au niveau de leurs usages, de leurs modes d'alimentation et de restitution de l'eau, de leur position dans le bassin versant, de leur lien avec le cours d'eau, de leur taille et forme. Tous ces facteurs contribuent à l'influence qu'une retenue peut avoir sur le milieu aquatique. Cette diversité de situations a conduit à proposer une typologie des retenues fondée sur leur mode d'alimentation (Figure 1), facteur qui paraît particulièrement déterminant.

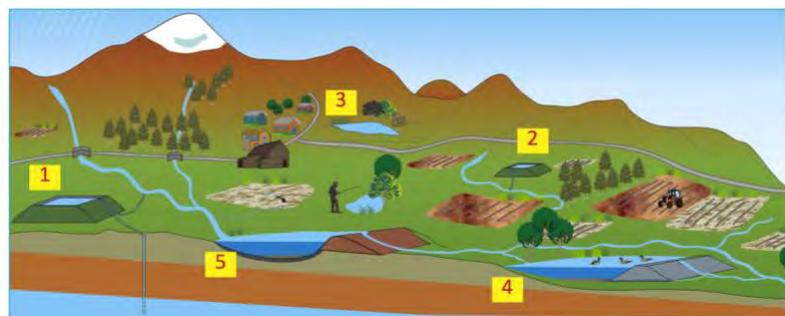


Figure 1 : Emplacement des retenues selon leur type d'alimentation.

1. Réserve alimentée par pompage dans la nappe.
2. Réserve alimentée par pompage dans la rivière.
3. Retenue collinaire alimentée par ruissellement. Déconnectée du réseau hydrographique.
4. Retenue en dérivation.
5. Retenue en barrage sur cours d'eau.

Pour une retenue isolée, l'ampleur des effets induits dépend d'un grand nombre de facteurs, que l'on peut regrouper selon trois composantes : les flux entrants dans la retenue, déterminés par les caractéristiques du bassin d'alimentation de la retenue ; les caractéristiques propres de la retenue ; en cas de restitution d'eau, de l'importance de ce flux restitué par rapport au débit du cours d'eau aval.

L'expertise a mis en évidence la faiblesse des connaissances sur l'effet environnemental cumulé des retenues. Très peu d'études abordent cette influence cumulée sur l'ensemble des caractéristiques fonctionnelles considérées dans l'expertise, bien que celles-ci interagissent fortement. La présence de retenues sur un bassin versant modifie l'ensemble des caractéristiques fonctionnelles. Cette modification constitue un problème dès lors qu'elle affecte un cours d'eau déjà fragilisé. L'évaluation de la significativité des effets sur un bassin suppose donc d'identifier les enjeux sur ce bassin, et de caractériser son état au vu de ces enjeux. Une démarche en deux étapes, correspondant à deux échelles emboîtées, permettrait de caractériser un bassin versant dans son ensemble, en identifiant les sous-bassins les plus fragilisés et les enjeux associés, avant d'aborder l'évaluation des effets cumulés de nouveaux projets sur ces sous-bassins.

En analysant les effets cumulés des retenues, les processus en jeu et les facteurs d'influence, l'expertise a permis d'identifier les principales interactions entre les caractéristiques fonctionnelles et la nécessité de les prendre en compte pour évaluer les effets cumulés. Le déficit de données et connaissances constaté limite le nombre d'indicateurs pertinents ou de méthodes validées qui permettraient d'emblée de caractériser l'influence d'un ensemble de retenues sur un bassin versant, voire d'anticiper l'effet de la construction de nouvelle(s) retenue(s).

Parmi les outils développés par INRAE figure la plateforme Maelia⁶ (Figure 9). Maelia est une plateforme, multi-agent, de modélisation et d'évaluation intégrées des territoires agricoles et systèmes de bioéconomie territoriale. Elle a pour objectif d'évaluer les impacts environnementaux, économiques et sociaux des changements combinés d'activités agricoles, de transformation et recyclage des biomasses, de modes gestion des ressources naturelles (ex. eau) et globaux (démographie, dynamique d'occupation du sol et changements climatiques). Des applications sont en cours en lien avec la gestion des retenues (financement OFB, faisant suite à l'ESCO).

⁶ Modelling of socio-agro-ecological system for landscape integrated assessment ; <http://maelia-platform.inra.fr>

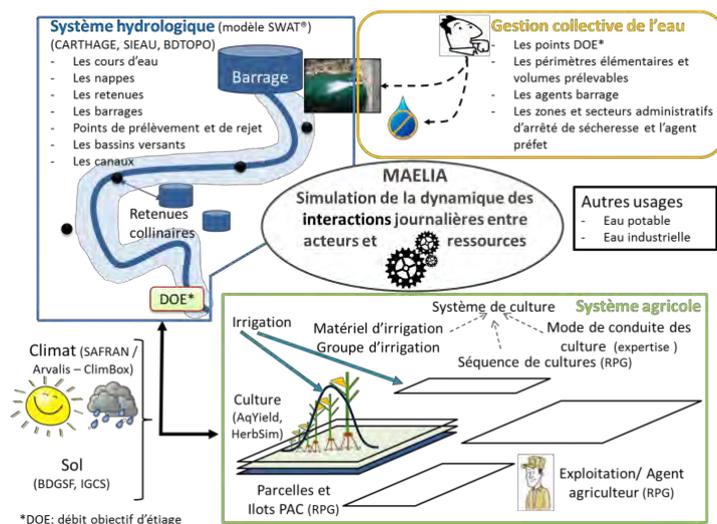


Figure 8. Représentation schématique de l'organisation de la plateforme Maelia.

Des projets d'extension des fonctionnalités de Maelia sont en cours. Ils permettront de traiter les questions relatives à la gestion territoriale des produits résiduels organiques (PRO), des régulations biologiques à l'échelle du paysage et aux déploiements des systèmes agroforestiers.

Plus généralement, Maelia propose une architecture logicielle pour traiter des questions concernant les interactions entre activités agricoles, filières de transformation et recyclage des biomasses, dynamiques du paysage agricole et gestion des ressources naturelles à l'échelle du territoire. De manière originale, elle permet de représenter le fonctionnement et les interactions entre les 4 grands sous-systèmes d'un système socio-agro-écologique : (i) l'écosystème, (ii) le système de ressources générées par cet écosystème, (iii) les activités des usagers de ces ressources et (iv) le système de gouvernance qui cherche à réguler les interactions entre usagers et ressources.

- **Développer les approches prospectives pour anticiper et identifier les problèmes relatifs à la gestion quantitative des ressources en eau**

Un retour d'expérience de l'étude Explore 2070 montre que de nombreux acteurs souhaitent disposer de nouvelles projections hydro-climatiques. En lien avec le Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) et différentes directions du MTES est en train d'être élaboré le projet « RExplore 2070 » auquel INRAE est associé. L'objectif est d'élaborer des projections hydro-climatiques selon une méthodologie homogène à l'échelle nationale, à partir de différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et de transférer/diffuser ces données pour une utilisation dans des études à l'échelle territoriale.

En terme de recherche, les travaux s'orientent vers l'identification de scénarios d'adaptation au changement climatique, d'adaptation à une moindre ressource en eau, couplés à des scénarios climatiques, pour avoir des projections intégrant des changements d'usage des sols, des pratiques agricoles. Il faudra alors s'interroger sur les éventuelles synergies et antagonismes entre stratégies sur le plan de la préservation de la ressource en eau, du stockage du carbone, de la production agricole.

INRAE (DS Environnement et DEPE) est en train de préparer un cahier des charges pour une étude de type 4p1000 mais sur l'eau : bilan hydrique (ETP, recharge) et production agricole, selon les scénarios d'usage des sols actuels, selon différents modes de gestion des terres (part de l'agriculture, système de culture, gestion irrigation...). Il s'agirait d'une étude interdisciplinaire, incluant des dimensions sociales et économiques.